

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERRECTORIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS AGRICOLAS CON ÉNFASIS EN MANEJO DE
SUELOS Y AGUA**

**DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO Y
TEMPERATURA AMBIENTAL SOBRE EL CULTIVO DE ARROZ, EN LOS
LLANOS DE COCLÉ**

**ELSIE PATRICIA CHEN TEIXEIRA
CIP: PE-10-1598**

**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL
GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ENFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUA.**

LAS TABLAS, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2018

**DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO Y
TEMPERATURA AMBIENTAL SOBRE EL CULTIVO DE ARROZ, EN LOS
LLANOS DE COCLÉ**

**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL
GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ENFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO

_____ **ASESOR**

MsC. Román Gordón Mendoza

_____ **JURADO**

Ph.D. Evelyn Quirós McIntire

_____ **JURADO**

Ph.D. Ismael Camargo Buitrago

2018

DEDICATORIA

Mi tesis, la dedico con todo amor y cariño:

A mi querida hija,

Younsee Patricia Chen Teixeira, por ser siempre mi fuente de inspiración y motivación, lo cual ha servido para superarme cada día y así poder luchar, para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mis padres,

Helena y Leopoldo, mis mejores ejemplos de vida, por ser mi apoyo incondicional y por nunca dejarme decaer, por siempre aconsejarme y colaborarme en todo.

A mis hermanos,

Erika Raquel y Leo Fat, los cuales siempre me han apoyado y ofrecido su amor y calidez de familia, para que este logro sea inspiración para ustedes.

A mis compañeros de maestría y profesores,

Ya que sin ustedes y su apoyo no hubiese logrado esta meta.

Elsie Patricia

AGRADECIMIENTOS

Primero, gracias Dios, por darme salud y fortaleza, para lograr cada meta que me trazo en la vida. Gracias por tu infinita misericordia.

A mi director de tesis M.Sc. Román Gordón, por todas sus enseñanzas y orientaciones para poder llevar a cabo esta investigación. Y a mis asesores: Dra. Evelyn Quirós y al Dr. Ismael Camargo por sus aportes y apoyo para que este trabajo se realizara correctamente.

A la Universidad de Panamá, Sede los Santos, por permitir progresar en mi formación académica. A los profesores y compañeros que contribuyeron a que alcanzara mis metas, gracias por apoyarme y ayudarme en todo.

Al Instituto de Investigaciones Agropecuaria de Panamá (IDIAP), con el Proyecto: Investigación e Innovación de Generación de Estrategias Agronómicas ante el Cambio Climático en el Arco Seco de Panamá, que está dentro del Programa: Investigación e Innovación para la Competitividad del Agronegocio, gracias por el financiamiento recibido para la realización de esta investigación y por todo el soporte logístico y científico.

Agradecimiento especial a la Ing. Luisa Martínez, por su contribución a la revisión de este documento.

A mis padres y hermanos por el apoyo recibido y a mi hija quien es mi tesoro, gracias por confiar en mí.

Y todas esas personas, que han estado pendientes de la realización de este trabajo y que me dieron su voz de aliento para que no desistiera. Mil gracias.

Elsie Patricia

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN	1
SUMMARY	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
I REVISIÓN DE LITERATURA	7
1. EL CULTIVO DE ARROZ EN PANAMÁ.....	7
1.1 FENOLOGÍA DEL ARROZ.....	7
2. CONCEPTO DE ESTRÉS.....	9
2.1 TIPOS DE ESTRÉS	9
2.2 ESTRÉS HÍDRICO	10
2.3 ESTRÉS TÉRMICO	10
3. TEMPERATURA AMBIENTAL	11
3.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL EN LAS PLANTAS.....	12
3.2 DIFERENCIAS ENTRE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA TEMPERATURA PLANTA	12
4. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL CULTIVO DE ARROZ.....	13

4.1	PRECIPITACIÓN	13
4.2	TEMPERATURA	14
4.3	RADIACIÓN SOLAR	14
4.4	VIENTOS	15
4.5	HUMEDAD	15
5.	FOTOSÍNTESIS	16
5.1	METABOLISMO.....	16
6.	CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO	17
7.	DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR	17
III	MATERIALES Y MÉTODOS	19
1.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	19
2.	TIPO DE DISEÑO.....	20
3.	UNIDAD EXPERIMENTAL	22
4.	MATERIAL GENÉTICO	22
5.	MANEJO AGRONÓMICO.....	23
6.	DATOS CLIMÁTICOS.....	24
7.	VARIABLES DE SUELO Y METODOLOGÍA UTILIZADA.....	24
7.1	ANÁLISIS DE SUELO	24
7.2	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	25
7.3	HUMEDAD DE SUELO	26
a)	MÉTODO GRAVIMÉTRICO	26
8.	ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)	27
9.	VARIABLES DEL CULTIVO.....	27
10.	DETERMINACIÓN DE BIOMASA	28
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
1.	CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA	29
2.	VARIABLES DEL SUELO	30
2.1	ANÁLISIS DE SUELO	30
2.2	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	31
3.	ANÁLISIS DE VARIANZA	32

3.1	EFFECTO FECHA DE SIEMBRA.....	34
a)	RELACIÓN HUMEDAD DE SUELO Y RENDIMIENTO DE GRANO	36
b)	DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR (VPD)	38
c)	PRODUCCIÓN DE BIOMASA	39
3.2	EFFECTO SISTEMA DE SIEMBRA SECANO x RIEGO	40
4.	EFFECTO CULTIVARES.....	44
5.	INTERACCIÓN FECHA x SISTEMA	45
6.	INTERACCIÓN FECHA x CULTIVAR	46
7.	INTERACCIÓN SISTEMA x CULTIVAR	47
8.	INTERACCIÓN FECHA x SISTEMA x CULTIVAR	48
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
1.	CONCLUSIONES	50
2.	RECOMENDACIONES.....	51
VI	BIBLIOGRAFÍA	52

INDICE DE CUADROS

Cuadro I. Características agronómicas de los cultivares de arroz utilizados en el estudio de estrés hídrico y temperatura ambiental.....	22
Cuadro II. Intervalos de tiempo entre lecturas en la prueba de infiltración.....	26
Cuadro III. Registro de la precipitación en decadas en el Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé 2016	29
Cuadro IV. Fertilidad del suelo del Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé..	30
Cuadro V. Características fisicoquímicas del Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé.....	31
Cuadro VI. Cuadrados medios del análisis de varianzas de las distintas variables de estudio	33
Cuadro VII. Comparación de medias para el efecto fecha de siembra.	34
Cuadro VIII. Comparación de medias para el efecto sistema de siembra.	41
Cuadro IX. Coeficiente de correlación de Pearson rendimiento de grano según sistema vs variables climáticas.	42
Cuadro X. Comparación de medias para el efecto cultivar.....	45
Cuadro XI. Comparación de medias para el efecto fecha por sistema.	46
Cuadro XII. Comparación de medias para el efecto fecha por cultivar.	47
Cuadro XIII. Comparación de medias para el efecto sistema por cultivar.	48
Cuadro XIV. Comparación de medias para el efecto fecha de siembra por sistema por cultivar.	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las diferentes fases y etapas del crecimiento y desarrollo de la planta de arroz (Quirós 2005).	8
Figura 2. Localización geográfica de los estudios estrés hídrico y temperatura ambiental en el cultivo de arroz.	20
Figura 3. Fotografía del ensayo de estrés hídrico y temperatura ambiental.	23
Figura 4. Infiltración Básica (mm/hr) del suelo del Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé.....	32
Figura 5. Porcentaje de humedad de suelo (Método Gravimétrico) en tres fechas de siembra, El Coco, Penonomé, 2016.	36
Figura 6. Relación entre el contenido de humedad de suelo en distintos intervalos de edades del cultivo vs rendimiento del grano.	37
Figura 7. Déficit de presión de vapor por fecha de siembra.	38
Figura 8. Lectura de NDVI en las tres fechas de siembra.....	39
Figura 9. Producción de biomasa a través del tiempo en tha^{-1}	40
Figura 10. Lecturas de NDVI por sistemas de siembra.	43
Figura 11. Biomasa por sistema de siembra en tha^{-1}	44

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO Y TEMPERATURA AMBIENTAL SOBRE EL CULTIVO DE ARROZ, EN LOS LLANOS DE COCLÉ

RESUMEN

En los Llanos de Coclé, se realizó esta investigación, con el objetivo de determinar el efecto que tienen algunas variables climáticas sobre los componentes del rendimiento del arroz. La unidad experimental estuvo constituida por seis parcelas de 20 m², con hileras separadas a 0.20 m entre ellas. Con una densidad de siembra de 150 kg de semilla por hectárea. El experimento se realizó en los sistemas de riego y secano, utilizando los cultivares de arroz IDIAP-FL-72-17 y VF-111-11, en tres fechas de siembra. Los datos meteorológicos, fueron obtenidos, de la estación de ETESA, ubicada a 100 metros de los ensayos. Se le realizó análisis físico químico, para la caracterización del suelo utilizado. Se realizaron lecturas de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y humedad de suelo con el método gravimétrico, cada cinco días después de siembra. También se realizó muestreos de biomasa, cortando tres plantas cada 20 días después de siembra. La siembra realizada en agosto, fue significativamente superior a las otras dos con un rendimiento de 5.75 tha⁻¹, le siguió la siembra realizada en julio con 5.09 tha⁻¹. La siembra de septiembre, presentó el rendimiento más bajo con 3.94 tha⁻¹. Los tratamientos con riego, fueron los que obtuvieron los más altos rendimientos con 6.70 tha⁻¹, las parcelas de secano presentaron rendimientos bajos de 3.15 tha⁻¹. Los cultivares utilizados, no presentaron diferencias significativas, en cuanto a rendimiento. La siembra de agosto con el sistema de riego, fue la que presentó los rendimientos más altos con 7.07 tha⁻¹, seguida de la siembra de julio, con el sistema riego, con 6.83 tha⁻¹. Mientras la siembra de septiembre, con el sistema secano, presentó los rendimientos más bajos con 1.67 tha⁻¹. Las siembras de julio y agosto, son las que obtuvieron mejores rendimientos, ya que obtuvieron una mejor distribución de precipitación pluvial. La disponibilidad de agua, es un factor importante para la obtención de buenos rendimientos, y es un componente fundamental en la producción de biomasa.

Palabras clave: Clima, estrés, rendimiento, precipitación, cambio climático.

DETERMINATION OF THE EFFECT OF WATER DEFICIT AND ENVIRONMENTAL TEMPERATURE ON RICE CULTIVATION, ON THE LLANOS DE COCLÉ

SUMMARY

In the Llanos de Coclé, this research was carried out with the objective of determining the effect of some climatic variables on the components of rice yield. The experimental unit consisted of six parcels of 20 m², with rows separated by 0.20 m between them. With a planting density of 150 kg of seed per hectare. The experiment was carried out in the irrigation and rainfed systems, using the rice cultivars IDIAP-FL-72-17 and VF-111-11, in three sowing dates. The meteorological data were obtained from the ETESA station, located 100 meters from the tests. A physical-chemical analysis was carried out for the characterization of the soil used. Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) and soil moisture readings were made with the gravimetric method, every five days after sowing. Biomass samplings were also carried out, cutting three plants every 20 days after sowing. The sowing carried out in August was significantly higher than the other two with a yield of 5.75 tha⁻¹, followed by the sowing carried out in July with 5.09 tha⁻¹. The September planting, presented the lowest yield with 3.94 tha⁻¹. The irrigated treatments were the ones that obtained the highest yields with 6.70 tha⁻¹, the dryland plots showed low yields of 3.15 tha⁻¹. The cultivars used did not show significant differences in terms of yield. The sowing of August with the irrigation system, was the one that presented the highest yields with 7.07 tha⁻¹, followed by the sowing of July, with the irrigation system, with 6.83 tha⁻¹. While the September planting, with the dry system presented the lowest yields with 1.67 tha⁻¹. The sowings of July and August are those that obtained better yields, since they obtained a better distribution of pluvial precipitation. The availability of water is an important factor for obtaining good yields, and is a fundamental component in the production of biomass.

Keywords: Climate, stress, yield, precipitation, climate change.

INTRODUCCIÓN

El arroz es una de las fuentes principales de consumo de calorías para más de la mitad de la población mundial. Punto de apoyo para las poblaciones rurales y un pilar de la seguridad alimentaria en muchos países de bajos ingresos (FAO 2004). La producción mundial de arroz se ha reducido en 1,6 millones de toneladas desde octubre 2016. Actualmente se cifra en 491.4 millones de toneladas, lo que supone una reducción del 0,6% respecto a la campaña de 2015, de por sí insatisfactoria (FAO 2016).

En Panamá para el año 2017-2018 la producción de arroz fue de 324,824 toneladas de arroz en cáscara. El área sembrada fue de 70,937 hectáreas, con un rendimiento de 4.67 toneladas por hectárea aproximadamente. La producción de arroz panameña, se realiza el 85% es en seco y el 15% en riego (MIDA 2018), esto quiere decir que la producción de arroz en Panamá depende de la ocurrencia de lluvias.

Los últimos eventos naturales extremos sucedidos en la región Centroamericana, confirman que hay un evidente cambio climático. Entre los efectos de estos cambios, se habla de un aumento de la temperatura promedio global. Ésta se ha elevado en 0.65°C, respecto a la temperatura promedio, propiciando el derretimiento del casco polar y por consiguiente un aumento del nivel de mar que afectará las tierras bajas e insulares. También se prevé una mayor y menor precipitación, provocada por eventos extremos,

como huracanes en ciertas temporadas y sequías en otros períodos promedio (Vargas 2009).

Las temperaturas por encima y por debajo de los límites críticos, afectan el rendimiento de grano. Incidiendo sobre el macollamiento, la formación de espigas y la maduración. Las bajas temperaturas limitan la duración del período y la tasa de crecimiento y el desarrollo de las plantas de arroz y las altas temperaturas causan estrés térmico sobre las plantas de arroz. Las temperaturas mínimas y altas críticas para el cultivo de arroz, están por lo general debajo de 20°C y por encima de 40°C, las cuales varían de un estado de desarrollo a otro (Olmos 2007).

El nivel recomendado de humedad en el suelo, es esencial para mantener un adecuado manejo de los nutrientes, de las malezas, de plagas y enfermedades. Bajo condiciones de secano la lluvia es un factor crítico, de lo contrario el cultivo sufre por falta o exceso de agua (FAO 2004).

El déficit de agua, produce una disminución en los rendimientos. Sin embargo, hay etapas o estados fenológicos en el desarrollo de un cultivo, en donde el efecto detrimental de un estrés hídrico es mayor (Jara y Valenzuela 1998).

Factores climáticos como falta de humedad del suelo, afectan la aparición y duración de las etapas fenológicas de la planta de arroz. Estos factores son capaces de modificar la anatomía, fisiología, morfología y bioquímica de la planta de arroz (Ramírez *et al.* 2007).

De acuerdo a las variaciones climáticas y los pronósticos, el cultivo de arroz bajo el sistema de secano favorecido, que es en dependencia de las lluvias en Panamá, representa un riesgo muy alto en la producción y abastecimiento de este alimento para la población

panameña. Se hace de importancia conocer como el estrés hídrico ocasionado por la ausencia de lluvias afecta el crecimiento y desarrollo de la planta del arroz. Así, como el estrés hídrico y temperatura ambiental determinan los potenciales de rendimiento de las variedades y líneas avanzadas que genera el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

Es necesario contabilizar por medio de estudios, cuanto afecta el estrés hídrico y las temperaturas ambientales en el cultivo de arroz, en sus diferentes etapas, y fechas de siembra, para así saber las necesidades del cultivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto que tienen algunas variables climáticas sobre los componentes del rendimiento del arroz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto del estrés hídrico sobre los componentes rendimiento del cultivo de arroz.
- Determinar el efecto de las fluctuaciones de temperaturas ambientales sobre los componentes del rendimiento del cultivo de arroz.

I REVISIÓN DE LITERATURA

1. EL CULTIVO DE ARROZ EN PANAMÁ

Las provincias que más producen arroz en el país son: Chiriquí, Veraguas y Coclé, con un porcentaje de 25%, 15% y 15%, respectivamente. El total de tierras cultivadas de arroz en el país son 70,937 hectáreas, donde el 85% es de sistema de siembra bajo secano y el 15% de sistema de siembra con riego y con un rendimiento promedio de 4.67 toneladas por hectárea. La provincia de Coclé, logró sembrar 10,859 ha, con una producción de 49,624 toneladas y un rendimiento promedio de 4.57 toneladas por hectárea, mediante los sistemas de secano y de riego (MIDA 2018).

1.1 FENOLOGÍA DEL ARROZ

La fenología del arroz, está formado por tres fases principales, que a su vez contienen etapas de crecimiento. Fases fenológicas, es la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales, los cuales pueden ser fácilmente identificados, ya que marcan cambios fisiológicos y morfológicos (Camargo *et al* 2012). Estas fases son:

- **Fase vegetativa:** inicia desde la germinación de la semilla hasta la iniciación de la panícula.
- **Fase reproductiva:** es el periodo entre la iniciación de la panícula hasta la floración.
- **Fase de maduración:** es comenzando la floración hasta madurez total (Fernández *et al* 1985).

Las etapas fenológicas, están delimitadas por cambios fisiológicos y morfológicos en el crecimiento de la planta, a cada etapa se le asignado un número y un nombre (Camargo *et al* 2012).

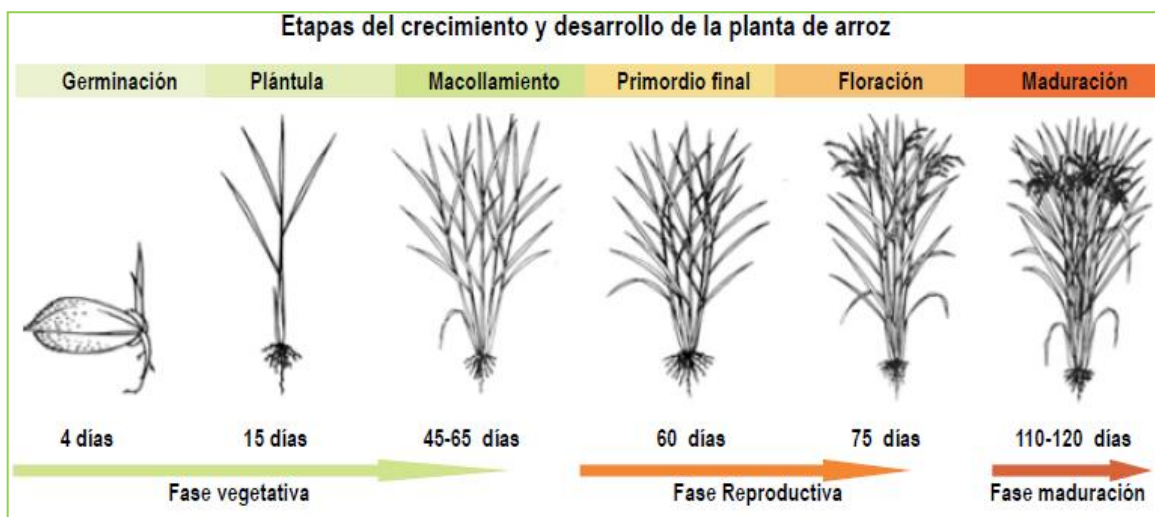


Figura 1. Esquema de las diferentes fases y etapas del crecimiento y desarrollo de la planta de arroz (Quirós 2005).

2. CONCEPTO DE ESTRÉS

El estrés es la presencia de un factor externo a la planta provocado por el medio ambiente inconstante, que ejerce una influencia negativa sobre su desarrollo óptimo (Soriano 1980).

El estrés se identifica como una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida. Dichas condiciones ocasionan cambios en todos los niveles funcionales de los organismos. Desde un punto de vista biológico, el estrés tiene una connotación más amplia, refiriéndose a los cambios ambientales que alteran al estado fisiológico de las plantas (Larcher 1995).

2.1 TIPOS DE ESTRÉS

Existen diversas clasificaciones de los factores de estrés. Pero en general, pueden clasificarse como estreses bióticos y abióticos (Montoliu 2010).

Estrés biótico: son causados por acción de otros seres vivos: animales, por otras plantas (por competencia, alelopatía, etc.), microorganismos (bacterias, hongos), y otros agentes fitopatógenos como los virus y viroides (Montoliu 2010).

Estrés abiótico: dependiendo del agente causal, pueden dividirse en físico o químicos. Dentro de los factores físicos se pueden mencionar el estrés por déficit o exceso de agua, temperaturas extremas (calor, frío, congelación), salinidad (en su

componente osmótico) y radiación ultravioleta. Entre los factores químicos, está la contaminación atmosférica por metales pesados, toxinas, salinidad (en su componente iónico o tóxico) y carencia de elementos minerales (Montoliu 2010).

2.2 ESTRÉS HÍDRICO

Las plantas en su ciclo de vida están sometidas a un gran número de condiciones ambientales adversas, como el déficit de agua en su entorno; y esto resulta una limitante para su distribución en las diferentes condiciones climáticas de la superficie terrestre. Esta amplia distribución se da gracias a que las plantas cuentan con mecanismos muy eficientes para hacer frente a los factores ambientales adversos (Pérez y Ochoa 1990).

2.3 ESTRÉS TÉRMICO

Para poder germinar, el arroz necesita un mínimo de 10 a 13°C, considerándose su óptimo entre 30 y 35°C. Por encima de los 40°C no se produce la germinación. Para que el tallo, hojas y raíces crezcan se necesita un mínimo de 7°C, considerándose el óptimo de 23°C. Con temperaturas superiores a ésta, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se hacen demasiado susceptibles a ataques de enfermedades. El espigado es influenciado por la temperatura y por la disminución de la duración de los días (Degiovanni *et al* 2010).

La espiga empieza a formarse treinta días antes del espigado, y siete días después de su formación alcanza unos 2mm aproximadamente. El mínimo de temperatura para floración es de 15°C, y el óptimo es de 30°C. Por encima de los 50°C, no se produce la floración. La respiración alcanza su máxima intensidad cuando la espiga está en embuchamiento, decreciendo después del espigado. Las temperaturas elevadas de las noches, intensifican la respiración en la planta, por cual el consumo de las reservas acumuladas durante el día, por la función de la clorofila es mayor. Por lo cual las temperaturas bajas por la noche, favorecen la maduración de los granos (Portillo y Peraliz 2015).

3. TEMPERATURA AMBIENTAL

El aumento de temperaturas registrado en las últimas décadas está amenazando el cultivo de arroz, cuya producción podría reducirse a medida que el fenómeno se acentúe si no se cambian los métodos agrícolas. A medida que las temperaturas mínimas diurnas aumentan, con noches más calurosas, la producción en los campos de arroz cae (Guerrero 2010).

3.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL EN LAS PLANTAS

La temperatura es un elemento fundamental en el desarrollo de las plantas porque intervienen en el crecimiento de la planta y la productividad de las cosechas, la planta es afectada por la temperatura tanto a corto como a largo plazo. También son importante los niveles de luz, dióxido de carbono, humedad del aire, agua y nutrientes, la temperatura interviene en el crecimiento de la planta y la productividad de las cosechas. Todos estos factores deberían estar en equilibrio (Guerrero 2010).

3.2 DIFERENCIAS ENTRE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA TEMPERATURA PLANTA

La mayoría de los procesos biológicos se activan con temperaturas altas, lo cual puede ser tanto positivo como negativo. Un rápido crecimiento o producción de frutos es un beneficio en la mayoría de los casos, sin embargo, la excesiva respiración que se produce es desfavorable porque implica que quedará menos energía disponible para el desarrollo de los frutos, resultando en unos frutos más pequeños. Algunos efectos se manifiestan a corto plazo mientras que otros lo harán a largo plazo. El equilibrio de asimilación de la planta, por ejemplo, se ve influenciado rápidamente por la temperatura, sin embargo, la inducción floral requerirá más tiempo (Surco *et al* 2017).

4. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL CULTIVO DE ARROZ

La temperatura, la radiación solar y la precipitación pluvial afectan directamente los procesos fisiológicos de la planta de arroz. Inciden en la producción de grano, e indirectamente inciden en la presencia de plagas y enfermedades del cultivo. Aparte de lo anterior los suelos deben ser aptos para el cultivo, con características que permitan una adecuada retención de agua y disponibilidad de nutrientes (Bebacchio y Avilán 1991).

4.1 PRECIPITACIÓN

Se considera que una precipitación de unos 200-300 mm bien distribuidos por mes, durante el ciclo del cultivo, son necesarios para un buen rendimiento; no obstante, el requerimiento depende mucho del tipo de suelo. Los requerimientos de agua para el cultivo del arroz en suelos arenosos son tres veces mayores que en suelos arcillosos. El período más crítico por necesidad de agua, son los 10 días antes de la floración, la falta de agua en ese período, es causa de una gran esterilidad de las flores y por ende los bajos rendimientos (Bebacchio y Avilán, 1991).

4.2 TEMPERATURA

Para el cultivo del arroz, las temperaturas críticas están por debajo de los 20° C y por arriba de los 32° C. La temperatura óptima para la germinación, el crecimiento del tallo, de las hojas y de las raíces, está entre los 23 y 27 °C. Con temperaturas superiores a estas, la planta de arroz crece más, pero los tejidos quedan muy blandos, siendo entonces susceptibles a los ataques de enfermedades. Además, las temperaturas bajas influyen negativamente en la diferenciación de las células reproductivas y por tanto causan una alta esterilidad de las espigas. Cuando hay tiempo lluvioso, alta nubosidad y bajas temperaturas afectan la polinización y por ende habrá un alto porcentaje de esterilidad de las espigas, resultando bajos rendimientos (Contin 1975).

4.3 RADIACIÓN SOLAR

Los requerimientos de luz en el arroz son diferentes según la fase en la que esté el cultivo. Durante la fase vegetativa un sombreamiento que reduzca de 75 al 25 por ciento de la radiación solar directa, afecta solo ligeramente el rendimiento final. Por el contrario, durante la fase reproductiva, el sombreamiento reduce notablemente el número de flores, y en consecuencia el rendimiento. El sombreamiento por cielo nublado durante el período de maduración también reduce el rendimiento; ya que, afecta el llenado del grano. La mayoría de las variedades del trópico son fotoperiódicamente sensitivas. (Benacchio y Avilán 1991).

4.4 VIENTOS

El viento es el aire de la atmósfera en movimiento. Está relacionado en el transporte de calor y de masa por convección a través de la capa límite de las plantas. A mayor velocidad del viento disminuye la resistencia de la capa límite del cultivo, esto tiende a aumentar la evaporación y acercar la temperatura de la hoja, a la temperatura del aire. Cuando existen vientos fuertes, cuando el arroz está en maduración, pueden ocasionar acame o caída de las espigas, dificultando la cosecha, y con esto pérdidas por pudrición del arroz, especialmente en condiciones de cultivo bajo riego (Benacchio y Avilán 1991).

4.5 HUMEDAD

El contenido de agua en el aire se conoce como humedad absoluta. La importancia de la humedad para el funcionamiento de las plantas es doble, ya que primero está determinada la tasa de pérdida de agua por la transpiración, donde el vapor del aire, es la conductancia de la transferencia del vapor de agua entre la superficie de la hoja y el aire. Y segundo porque la humedad tiene un efecto directo sobre los estomas en la mayoría de los cultivos, por tanto el estoma tiende a cerrarse en condiciones de aire seco para proteger a la planta de pérdidas excesivas de agua, pero esto a la vez reduce la asimilación del dióxido de carbono (INSMET 2011).

5. FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es el proceso más importante de la naturaleza, porque sustenta toda cadena alimenticia. Este es el proceso mediante el cual las plantas transforman la energía proveniente del sol, en energía química. El rendimiento de arroz, depende de la magnitud de la fotosíntesis que se realice en las hojas, ya que este cultivo está estrechamente relacionado con el desarrollo de las hojas. La actividad fotosintética de este cultivo, depende de la cantidad de energía radiante que éste pueda interceptar. La interceptación de esta energía depende de las características de las hojas, como su tamaño, grosor, color, ángulo de inserción de su lámina en el tallo y su duración. La vida de las hojas es corta y para la época de la floración solamente hay 4 o 5 hojas verdes en cada tallo, y de ellas, las dos hojas superiores son responsables de la fotosíntesis en un 75% de los carbohidratos que van al grano (Degiovanni 2010).

5.1 METABOLISMO

El arroz se trata de una planta tipo C3. La baja resistencia de sus hojas a la entrada de aire, en conjunto a un abundante suministro de agua, puede ayudar a la eficiencia del sistema fotosintético. Los niveles de luz y de temperatura en los ambientes propios del cultivo de arroz, no son suficientemente elevados por ser favorables a la fotosíntesis tipo C4 (Portillo y Peraliz 2015).

6. CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO

El suelo es una matriz sólida y no rígida, el cual está compuesto de aproximadamente 50% de partículas minerales y orgánicas y 50% de espacio poroso, ocupado por aire y agua. El estado hídrico del suelo se detalla a través del contenido y energía libre del agua, siendo estos factores los que afectan directamente el comportamiento vegetal. Las propiedades físicas del suelo como densidad aparente, textura y porosidad, entre otras, están relacionadas con la productividad de los cultivos porque estos modifican el almacenamiento de agua en suelo y su movimiento (Silva *et al* 2000).

El contenido de agua del suelo se expresa en términos gravimétricos (w) y/o volumétricos (θ). El contenido gravimétrico es la masa de agua en una unidad de masa de suelo seco. Es el método más simple de medición del agua en el suelo. Se determina secando la muestra de suelo a 105°C hasta peso constante (alrededor de 24 horas).

7. DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR

El Déficit de Presión de Vapor (VPD), o también llamado déficit de saturación, es un dato climatológico que se basa en la humedad relativa y la temperatura. El VPD nos da información sobre el grado de sequedad o humedad del aire y varía según la temperatura y las condiciones de humedad (Allen *et al* 2006).

$$DPV = e_s(1 - HR),$$

siendo HR , la humedad relativa del aire y e_s , la presión de vapor en saturación (kPa), calculándose a partir de la siguiente expresión:

$$e_s = 0.611 \exp \left[\frac{17.27T}{T + 237.3} \right]$$

siendo T , la temperatura del aire en grados centígrados.

Un aumento de VPD, se traduce en una disminución del potencial hídrico de la atmósfera, con lo cual el gradiente de energía entre el agua del suelo y la atmósfera aumenta, de este modo la energía disponible para movilizar el agua entre estos puntos hace que se potencie la transpiración de la planta y por lo tanto aumente el flujo de calor latente. Por otro lado, a medida que el VPD entre la hoja de la planta y el aire incrementa, los estomas responden a un cierre parcial, evitando así altas tasas de transpiración, es decir, altos valores del flujo latente, que de lo contrario estarían inducidas por el aumento del VPD (Lange *et al* 1971).

III MATERIALES Y MÉTODOS

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El estudio se realizó en el Campo Experimental del Subcentro Pacífico Marciaga, el cual está ubicado a 7 km al sur de la ciudad de Penonomé, en el corregimiento del Coco, distrito de Penonomé, provincia de Coclé. Forma parte del Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG), del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

El área de estudio corresponde al bosque seco tropical según Holdridge (ANAM 2011), el cual está ubicado entre 8°25'00'' de latitud Norte y 80°21'10'' longitud Oeste (Figura 2). El suelo que caracteriza a estas llanuras es fino, mezclado de textura franco arcillo arenosa, el cual correspondiente a la clasificación Aerico Tropaquept, y tiene un régimen de humedad Ústico y un régimen de temperatura Isohipertérmico (Jaramillo 1991).

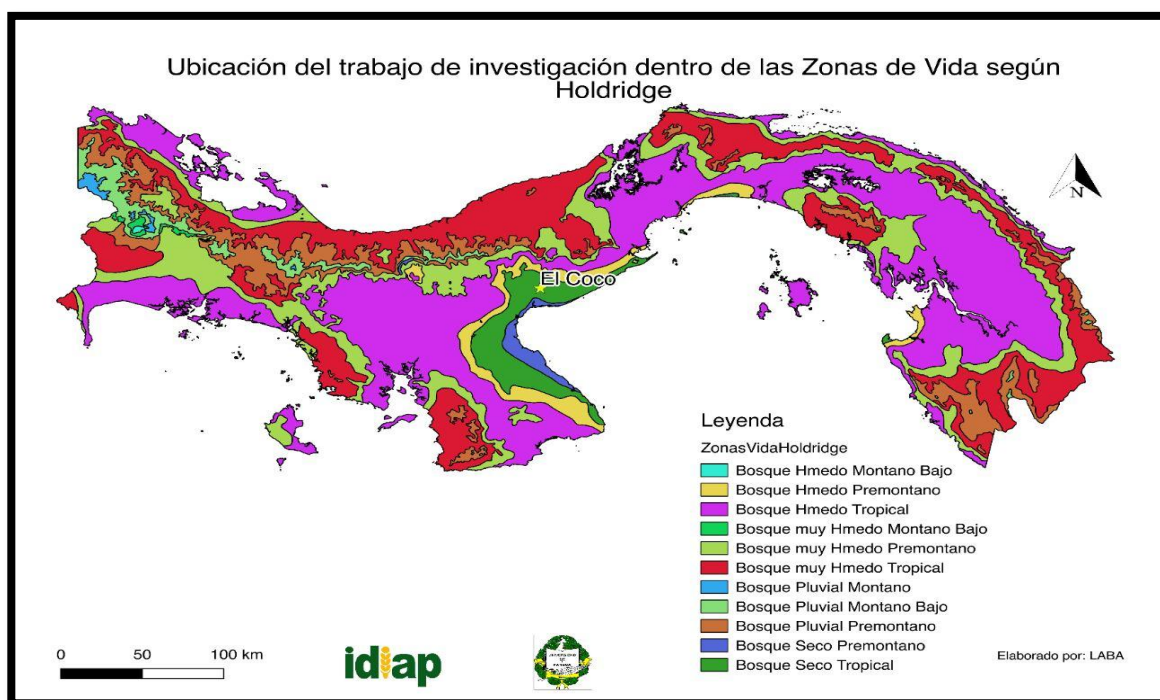


Figura 2. Localización geográfica de los estudios estrés hídrico y temperatura ambiental en el cultivo de arroz.

2. TIPO DE DISEÑO

El diseño utilizado fue de Bloques Completamente al Azar, con 3 repeticiones. Se evaluaron tres factores en este estudio; el primer factor, fue el sistema de siembra; se utilizaron los sistemas de riego (parcela sin estrés hídrico a capacidad de campo, tinas de arroz) y secano (parcela con estrés natural). El segundo factor; las fechas de siembras 16 de julio (primera), 10 de agosto (segunda) y 14 de septiembre (tercera). El tercer factor, fueron los cultivares; (IDIAP-FL-72-17 y VF-111-11).

Los tratamientos tuvieron un arreglo factorial $2 \times 3 \times 2$ en fajas. En donde la parcela principal fueron los sistemas de siembra (A), las sub parcela las fechas de siembra (B) y

la sub-sub parcelas los cultivares (C). Se realizó un análisis de varianza para determinar la mejor época de siembra del cultivo, con los rendimientos obtenidos.

Se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \text{rep} + A + \text{rep} * A + B + \text{rep} * B + C + \text{rep} * C + AB + \text{rep} * AB + BC + \text{rep} * BC + AC + \text{rep} * AC + ABC + \text{rep} * A * B * C$$

en donde:

Y_{ijk} : Valor del carácter estudiado

rep : Repetición

A : Factor 1 (Sistema de siembra)

$rep A$: Error 1

B : Factor 2 (Fecha de siembra)

$rep * B$: Error 2

C : Factor 3 (Cultivar)

$rep * C$: Error 3

AB : Interacción entre el sistema y fecha de siembra

$rep * AB$: Error 4

$B * C$: Interacción de fecha de siembra*cultivar

$rep * B * C$: Error 5

$A * C$: Interacción de sistema de siembra*cultivar

$rep * A * C$: Error 6

$A * B * C$: Interacción de sistema de siembra*fecha de siembra*cultivar

$rep * A * B * C$: Error 7

3. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental, estuvo constituida por parcelas de 20 m² (5.0 m de largo por 4.0 m de ancho), con hileras separadas a 0.20 m entre ellas. Siendo los surcos centrales la parcela efectiva.

4. MATERIAL GENÉTICO

El material genético utilizado, fueron dos cultivares de mejoramiento del Proyecto Desarrollo de Germoplasma Mejorado de Arroz para los Sistemas Productivos de Panamá, del IDIAP (Cuadro I).

CUADRO I. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS CULTIVARES DE ARROZ UTILIZADOS EN EL ESTUDIO DE ESTRÉS HÍDRICO Y TEMPERATURA AMBIENTAL

Variable	Cultivares	
	IDIAP-FI-72-17	VF-111-11
Floración (días)	75	65
Macollamiento (hijos)	19.52	5.92
Longitud de la lámina (cm)	30.78	36.24
Ancho de la lámina (cm)	1.05	1.37
Longitud de la hoja bandera (cm)	26.64	24.16
Ancho de la hoja bandera (cm)	1.5	1.6
Tamaño de la lígula (cm)	1.48	1.40
Madurez (días)	109	96
Longitud de la panícula (cm)	24.1	22.3
Longitud de la semilla (cm)	0.98	0.95
Ancho de la semilla (mm)	3	3
Altura de planta (cm)	99.6	109.7

5. MANEJO AGRONÓMICO

El manejo agronómico utilizado en las parcelas fue el siguiente: se utilizó una tasa de siembra de 3.0g de semilla por metro lineal (150 kg.ha^{-1}). La fertilización se fraccionó en cuatro aplicaciones, la primera a la siembra con 180 kg.ha^{-1} de fórmula completa (12-24-12; NPK), las otras fertilizaciones nitrogenadas (Urea al 46% a razón de 180 kg.ha^{-1}) a los 20, 30 y 55 días después de la siembra (dds). El control de las malezas, plagas y enfermedades se realizó de acuerdo con las tecnologías generadas por el IDIAP (Camargo *et al* 2014). El manejo agronómico para ambos sistemas de siembra, se realizaron de igual manera.



Figura 3. Fotografía del ensayo de estrés hídrico y temperatura ambiental.

6. DATOS CLIMÁTICOS

Los datos climatológicos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en el Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé, que está ubicada a menos de 100 metros de la parcela experimental, la misma pertenece al departamento de Hidrometereología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA). Esta estación, proporcionó datos climáticos como precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y presión barométrica.

7. VARIABLES DE SUELO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

7.1 ANÁLISIS DE SUELO

Se realizó un muestreo de suelo, antes de establecer el experimento, colectando submuestras a una profundidad de 30 cm, las mismas fueron mezcladas para sacar una muestra homogénea del sitio, y se enviaron al laboratorio de Suelos de IDIAP – Divisa, para determinar las características fisicoquímicas, descritas por la metodología de Villarreal y Name (1996).

7.2 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Se realizó una prueba de infiltración, empleando un infiltrómetro de doble anillo concéntrico, utilizando la metodología de Kostiakov (1932), en donde se procedió a:

1. Limpiar la vegetación del área donde se instaló el cilindro, sin alterar la estructura del suelo. Se le aplicaron golpes fuertes, con un trozo de madera para introducir el mismo a una profundidad de 10 a 15 cm.
2. Luego de instalados los dobles anillos concéntricos, se colocó un plástico en el interior del cilindro, para aplicar el volumen del agua, con la ayuda de unas cubetas. El plástico evito que golpeará directamente con el suelo y no produjera alteraciones de los valores.
3. A la vez, se procedió a vaciar el agua en el cilindro exterior, el cual actúo como tapón.
4. Una vez, retirado el plástico del interior del cilindro, se procedió con la primera lectura. Para esto, se ubicó una regla sobre una estaquilla previamente instalada y se procedió a anotar las lecturas del agua observados en la regla. Las lecturas se realizaron en los siguientes tiempos (Cuadro II).

CUADRO II. INTERVALOS DE TIEMPO ENTRE LECTURAS EN LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN.

Número de lecturas	Intervalo de tiempo entre lecturas (minutos)
5	1
5	5
3	10
2	15
3	20
2	30
2	60

7.3 HUMEDAD DE SUELO

a) MÉTODO GRAVIMÉTRICO

La humedad del suelo, se determinó a través del método gravimétrico, a una profundidad de 20 cm. Con la ayuda de una pala se recolectó el suelo, se procedió a tomar pesos húmedos, posteriormente se introdujo en un horno para secarlas a una temperatura de 75°C durante 24 horas y después de secarlas se tomó pesos secos. Estas muestras fueron tomadas en todas las unidades experimentales en los tratamientos de secano en intervalos de 5 días.

El contenido de humedad por este método se puede expresar en base a peso o en base a volumen de suelo. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%H(w. w^{-1}) = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 = \frac{Pa}{Pss} \times 100$$

Donde: Psh es el peso (w) de suelo húmedo (en g o kg); Pss es el peso de suelo seco (en g ó kg) en horno a 105 °C; Pa es el peso de agua correspondiente a la diferencia entre

el P_{sh} y el P_{ss} (Florentino 2011). El resultado de humedad de suelo puede expresarse como fracción.

8. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

La medición del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se utilizó para estimar la sanidad del cultivo (vigor, biomasa), utilizando el sensor de cultivos de mano “Green Seeker®” (Meneses 2012). Los rangos de medición del NDVI están entre -1.0 y 1.0, siendo valores altos (0.7 a 0.8) indicando plantas en buenas condiciones. Suelos descubiertos generan valores de 0.1 a 0.2, y el agua valores desde -0.1 hasta 0.1 o 0.2. (Gutiérrez *et al* 2011). Esta medición se realizó con intervalos de 5 días, se hicieron dos mediciones en cada unidad experimental, utilizando los surcos centrales de la parcela.

9. VARIABLES DEL CULTIVO

Para cada sistema de siembra y fecha, se determinaron las siguientes variables: días a floración, días a maduración, plantas por metro cuadrado, panícula por metro cuadrado y rendimiento de grano.

Plantas por metro cuadrado, se procedió a contar las plantas, cuando las mismas estaban entre 15 a 20 días después de siembra, utilizando un metro lineal lanzado al azar, con dos repeticiones por parcela y el metro lineal se transformó a metro cuadrado, multiplicando el número de plantas contadas por 5.

La altura de plantas, se midió desde la superficie de suelo hasta la punta más alta de la espiga en cm.

Los días a floración, fueron registrados observando el 50% de población de la parcela, con espigas en flor.

Los días a maduración, se estimó visualmente con el 80% de granos maduros y un 20% granos de color verde.

Para determinar el peso de panículas, se procedió a cortar las panículas, con un metro lineal y se realizaron 2 repeticiones por parcela, se desgranó manualmente y se pesó en gramos, con una balanza analítica digital de 2000g.

El rendimiento del grano, se cosechó en ambos sistemas y fechas de siembra, cuando alcanzaron madurez fisiológica con humedad al 25%, a partir de los surcos centrales de la parcela con un área de 4.8m^2 , se secó y limpió para determinar el rendimiento del grano limpio y seco a la humedad de 14%.

10. DETERMINACIÓN DE BIOMASA

Se realizaron muestreos para la determinar la biomasa en cada unidad experimental. Para esto se procedió a cortar tres plantas, en un lapso de cada 20 días hasta finalizar el cultivo. Estas plantas se picaban y se introducían en una bolsa de papel, se procedía a tomar el peso húmedo, luego se colocaban en el horno a una temperatura de 70°C por 24 horas o hasta que se secaran totalmente, luego se tomaba el peso seco registrándolo en gramos.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA

La precipitación en el año 2016, fue muy buena, y se contó con lluvias en los tres decadas. Los meses que obtuvieron más precipitación fueron octubre y noviembre con una suma para los meses de 202.5 mm y 323.5 mm respectivamente. Los que presentaron con menos precipitación fueron agosto con 74.5 mm y diciembre con 80.5 mm (Cuadro III).

CUADRO III. REGISTRO DE LA PRECIPITACIÓN EN DECADAS EN EL SUBCENTRO PACÍFICO MARCIAGA, EL COCO, PENONOME 2016

Decadas	Precipitación en mm año 2016
1a julio	14.5
2a julio	65.5
3a julio	57.5
1a agosto	48.0
2a agosto	18.0
3a agosto	8.5
1a septiembre	14.5
2a septiembre	23.5
3a septiembre	69.0
1a octubre	27.0
2a octubre	92.5
3a octubre	83.0
1a noviembre	78.0
2a noviembre	80.5
3a noviembre	165.0
1a diciembre	19.5
2a diciembre	23.5
3a diciembre	37.5

2. VARIABLES DEL SUELO

2.1 ANÁLISIS DE SUELO

El contenido de nutrientes del suelo del Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé, presenta niveles elevados de Mn; muestra niveles medios de K y Mg; y niveles bajos de P, Ca, Al, Fe, Zn y Cu (Cuadro IV).

CUADRO IV. FERTILIDAD DEL SUELO DEL SUBCENTRO PACÍFICO MARCIAGA, EL COCO, PENONOMÉ.

P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
<i>mg l⁻¹</i>		<i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>			<i>mg l⁻¹</i>			
4.0	77.0	2.1	1.2	0.2	55.0	22.0	0.5	1.0

Fuente: Laboratorio de Suelos, IDIAP 2016

En cuanto a características físicas, este suelo muestra una textura franco arcillosa, una coloración parda amarillenta en estado seco. Y en características químicas el suelo tiene, un pH muy ácido, capacidad de intercambio catiónico (CICE) baja. Un porcentaje de saturación de Al bajo, y una saturación de bases alto, la cual está dominada por la saturación de Ca con 55.7% y de Mg 33.5% y bajos niveles de materia orgánica (Cuadro V). Según Degiovanni *et al* (2010), la mayoría de las variedades de arroz crecen y rinden más en suelos inundados, con textura que varíe entre arenosa y arcillosa. El arroz, soporta bien los suelos, cuyo pH este entre 4.0 y 8.4, no obstante, se desarrolla mejor cuando la acidez no baje de pH 5.0 ni sobrepase pH 6.5. Su contenido de materia orgánica, puede estar entre 1% a 50% y concentraciones de sales entre 0 a 1%.

CUADRO V. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUBCENTRO PACÍFICO MARCIAGA, EL COCO, PENONOMÉ.

Textura	color	CICE	pH	Al	bases	M.O
		<i>cmol₍₊₎ kg⁻¹</i>		% saturación		%
FA	Pardo A.	3.7	4.9	5.41	94.59	0.76

Fuente: Laboratorio de Suelos, IDIAP 2016

2.2 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

La velocidad de infiltración (I) del suelo del Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé, fue de 1.18 mm/hr (de 1 – 5 mm/hr es el rango de suelos muy pesados) y tiende a hacerse constante en el tiempo. En la Figura 4, se presenta la curva de infiltración de este suelo, el análisis estadístico de la misma presentó un R^2 de 0.87, lo cual indica que tiene buena relación entre las variables infiltración acumulada y el tiempo acumulado. Este suelo, presenta un pie de arado, por ser utilizado para el cultivo de arroz por varios años y haber sido sometido a los pases de maquinaria agrícola, se creó esta capa compacta, lo cual hace que la infiltración sea lenta.

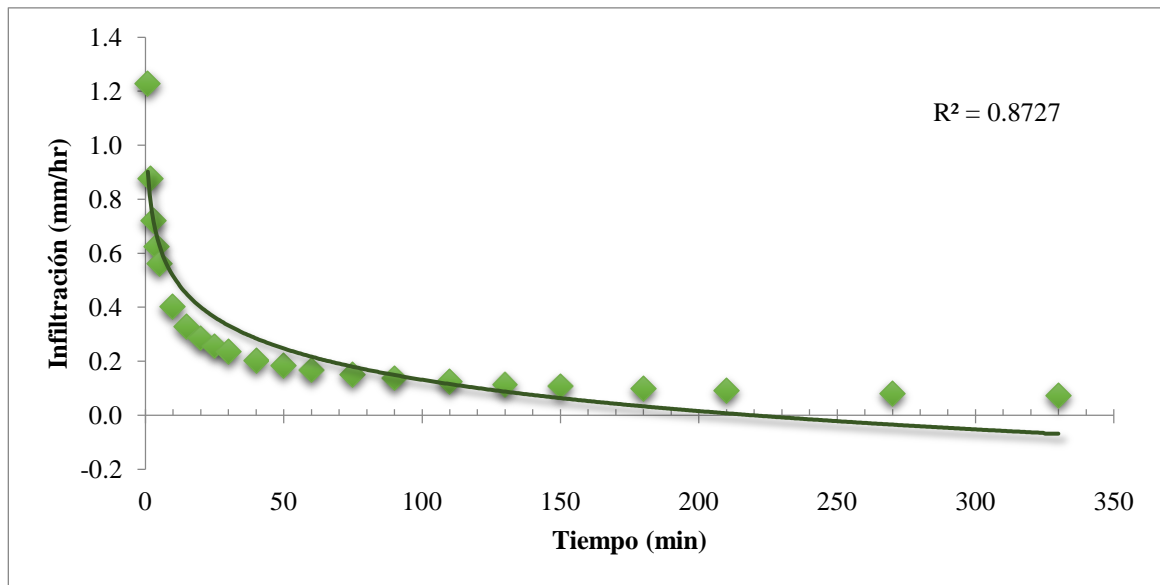


Figura 4. Infiltración Básica (mm/hr) del suelo del Subcentro Pacífico Marciaga, El Coco, Penonomé.

3. ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza realizado, mostró que para la variable plantas por metro cuadrado existieron diferencias altamente significativas para el factor sistema de siembra.

Los resultados para el número de panículas por metro cuadrado, presentó diferencia altamente significativa para los factores sistema de siembra y cultivar.

Para el peso de panícula, se encontró diferencias altamente significativas, para los factores fecha de siembra y sistema de siembra. Y diferencia significativa, para la interacción fecha de siembra por sistema de siembra.

En la variable rendimiento, presentó diferencia altamente significativa, para los factores fecha de siembra y sistema de siembra. Y presentó diferencia significativa, para la interacción fecha de siembra por sistema de siembra.

Para la variable altura de planta, se observó diferencia altamente significativa, para los factores fecha de siembra, sistema de siembra y cultivar; y para la interacción fecha de siembra por sistema de siembra.

La variable floración, mostró diferencia altamente significativa, para los factores fecha de siembra, sistema de siembra, cultivar; y para las interacciones fecha de siembra por cultivar y fecha de siembra por sistema de siembra por cultivar.

Y para los resultados de la variable de maduración, presentó diferencia altamente significativa, para los factores fecha de siembra, sistema de siembra, cultivar, para las interacciones fecha de siembra por sistema de siembra y fecha de siembra por cultivar. Y diferencia significativa para las interacciones sistema de siembra por cultivar y fecha de siembra por cultivar (Cuadro VI).

CUADRO VI. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZAS DE LAS DISTINTAS VARIABLES DE ESTUDIO

F de V	g.l.	PTM2	PAM2	PPAN	REND	ALPT	FLO	MAD
REP	2	989.06	1107.47	6865.08	0.63	8.71	4.36	8.53
FEC	2	2963.0 ^{ns}	4198.1 ^{ns}	107916.1 ^{**}	10.1 ^{**}	126.8 ^{**}	368.5 ^{**}	2080.0 ^{**}
FEC*REP	4	2488.02	2994.97	913.92	0.09	29.66	0.69	3.15
SIS	1	822800.2 ^{**}	29041.8 ^{**}	1169642.2 ^{**}	113.5 ^{**}	2523.4 ^{**}	1950.7 ^{**}	1356.7 ^{**}
SIS*REP	2	3976.22	1182.47	3235.75	0.36	18.87	2.03	0.86
FEC*SIS	2	2157.47 ^{ns}	7918.92 ^{ns}	30563.08 [*]	2.74 [*]	340.75 ^{**}	143.36 ^{**}	8.53 ^{**}
FEC*SIS*REP	4	3464.76	1762.67	12108.83	1.21	6.05	1.94	4.57
CUL	1	8025.17 ^{ns}	51946.01 ^{**}	491.36 ^{ns}	0.08 ^{ns}	110.25 ^{**}	191.36 ^{**}	200.69 ^{**}
CUL*REP	2	2601.22	638.72	1075.53	0.11	1.47	0.53	1.19
FEC*CUL	2	1080.38 ^{ns}	1904.34 ^{ns}	19580.19 ^{ns}	2.02 ^{ns}	4.71 ^{ns}	2.19 ^{**}	16.69 ^{**}
FEC*CUL*REP	4	4267.36	628.30	3747.11	0.37	2.35	1.61	2.07
SIS*CUL	1	25466.84 ^{ns}	875.17 ^{ns}	1508.03 ^{ns}	0.26 ^{ns}	2.25 ^{ns}	0.03 ^{ns}	4.69 [*]
SIS*CUL*REP	2	1773.09	205.38	2135.19	0.23	8.00	2.19	0.86
FEC*SIS*CUL	2	1507.47 ^{ns}	7156.42 ^{ns}	16807.19 ^{ns}	1.67 ^{ns}	13.10 ^{ns}	1.36 ^{**}	4.19 [*]
FEC*SIS*CUL*REP	4	4815.28	1492.88	3228.36	0.31	6.75	0.03	0.49

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALPT = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración, * =significancia al 0.01, **= significancia al 0.05 y ns = no significativo.

3.1 EFECTO FECHA DE SIEMBRA

La siembra realizada en agosto, fue significativamente superior a las otras dos con un rendimiento de 5.75 tha^{-1} , le siguió la siembra realizada en julio con 5.09 tha^{-1} . La siembra de septiembre, presentó el rendimiento más bajo con 3.94 tha^{-1} . Para variables como peso de panícula, altura de planta, la siembra de agosto presentó los valores más altos (Cuadro VII).

CUADRO VII. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL EFECTO FECHA DE SIEMBRA.

FECHA	PTM2 (m²)	PAM2 (m²)	PPAN (g)	REND (tha⁻¹)	ALPT (cm)	FLO (días)	MAD (días)
<i>Julio</i>	307.3	366.3	517.5	5.09	89	91	121
<i>Agosto</i>	280.8	398.7	569.3	5.75	95	85	95
<i>Septiembre</i>	308.8	366.5	385.4	3.94	94	80	110
DMS 5%	56.5	62.0	34.3	0.34	6.2	1	2

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALTP = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración.

En el Cuadro VIII, se observan distintas variables climáticas durante el desarrollo del ensayo. Los valores de temperatura, que se presentaron en el ciclo del cultivo, estaban en los rangos permisibles que soporta el arroz. No hubo estrés ambiental por efecto de la temperatura. Según Vargas (1985), se consideran valores críticos de temperatura por debajo de 20°C y por encima de 30°C. Sin embargo, en el mes de septiembre, hubo una reducción en la precipitación en el intervalo de 81 a 100 dds, el mes de julio una

reducción en el intervalo de 35 – 55 y agosto una reducción en el intervalo de 0 – 30 dds. De este modo, el estrés hídrico afecta el metabolismo del carbono y del nitrógeno por lo que la productividad y el rendimiento disminuyen (MINAG 2011; Watto *et al* 2015).

CUADRO VIII. VALORES DE VARIABLES CLIMÁTICAS POR PERÍODO SEGÚN FECHA DE SIEMBRA, SUBCENTRO PACÍFICO MARCIAGA, EL COCO, PENONOME 2016.

Fecha de Siembra	Intervalo de edad (dds)	ppt	T prom	ETO	VPD
		mm	°C	mm	kPa
Julio (16)	0 - 30	160.5	26.6	3.2	0.4
	31 - 55	23.5	26.6	3.4	0.5
	56 - 80	106.0	26.0	3.4	0.5
	81 - 110	262.0	25.7	3.3	0.4
Agosto (10)	0 - 30	40.0	26.6	3.5	0.5
	31 - 55	106.0	26.0	3.4	0.5
	56 - 80	182.0	25.8	3.3	0.4
	81 - 110	263.0	25.5	3.2	0.3
Septiembre (14)	0 - 30	151.5	26.0	3.4	0.5
	31 - 55	215.5	25.7	3.3	0.4
	56 - 80	251.0	25.5	3.0	0.3
	81 - 110	75.0	26.6	3.1	0.3

El ensayo durante todas las siembras, mantuvo buena humedad del suelo, durante el ciclo del cultivo, con excepción de la siembra de septiembre, en donde se observa una reducción marcada en la edad de 81 a 110 dds, al compararla con las dos fechas de siembras previas (Figura 5). La siembra establecida en el mes de agosto, fue la que obtuvo mejor distribución de lluvias. La siembra de septiembre tiene una caída después de los 80 días, donde empieza la floración. Según Stone *et al* 2006, la necesidad de agua, es máxima, en la etapa de inicio de primordio floral, embuchamiento y floración. Por tal

motivo, vemos la caída en rendimiento en este mes, al haber una sequía en estas etapas tan primordiales.

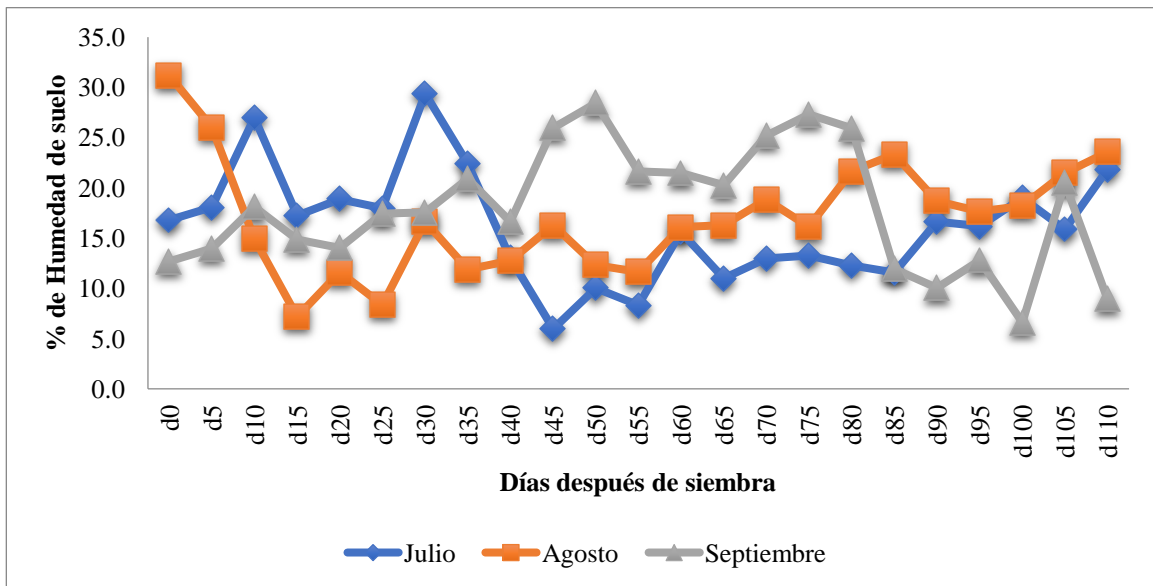


Figura 5. Porcentaje de humedad de suelo (Método Gravimétrico) en tres fechas de siembra, El Coco, Penonomé, 2016.

a) RELACIÓN HUMEDAD DE SUELO Y RENDIMIENTO DE GRANO

En las gráficas de la Figura 6, no se encontró correlación significativa, en el intervalo de 0 a 30. Pero en las ecuaciones de regresión de los intervalos de edad de 31 a 55 dds, 56 a 80 dds y 81 a 110 dds, sí observamos que se presentan altos coeficientes (0.84, 0.55 y 0.71). Esto sugiere que, los dos primeros intervalos (0 a 30 dds y 31 a 55 dds), son los que requieren menos agua, por esta razón el estrés hídrico no es el responsable de los bajos rendimientos, sino el establecimiento de la parcela. Sin embargo, la etapa más crítica donde el arroz se ve afectado por el estrés hídrico va desde el inicio del primordio floral

hasta la floración, que comprende los intervalos de edades de 56 a 80 dds y parte de la 81 a 110 dds (Stone *et al* 2006).

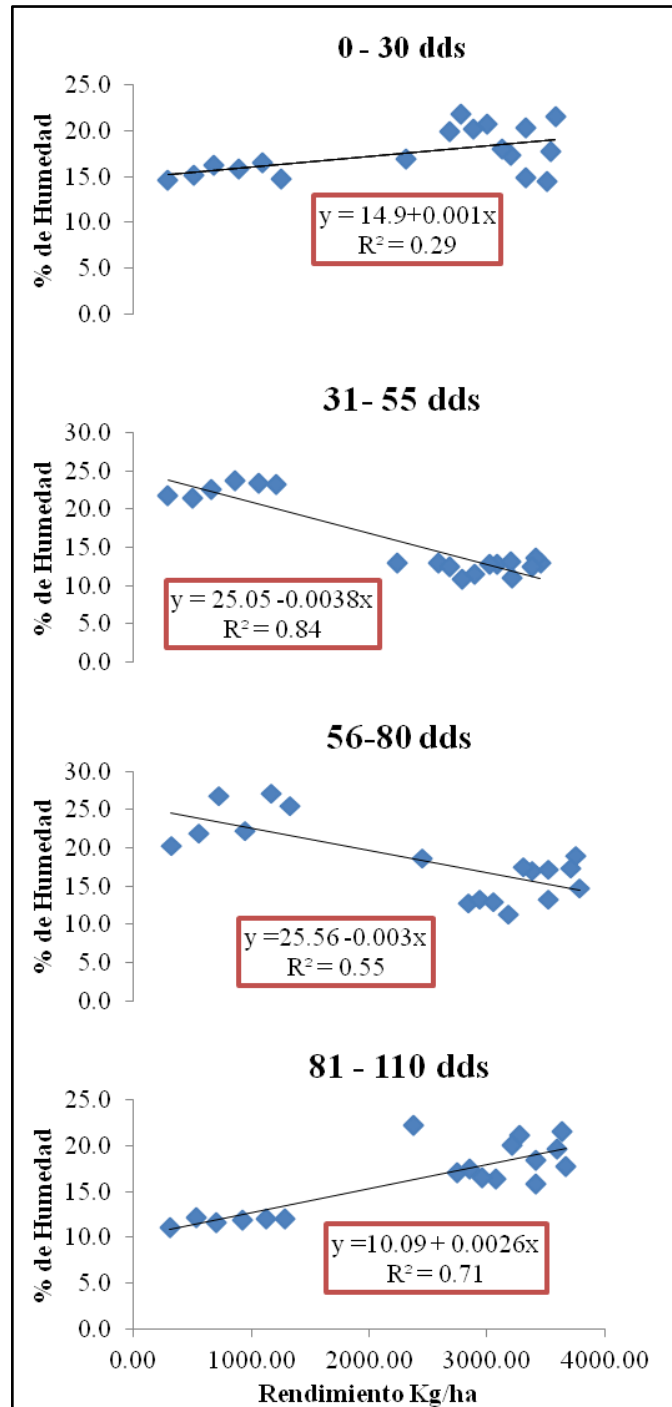


Figura 6. Relación entre el contenido de humedad de suelo en distintos intervalos de edades del cultivo vs rendimiento del grano.

b) DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR (VPD)

Los resultados muestran que la fecha de siembra del mes de julio, fue la que presentó niveles más elevados de VPD, lo que muestra que para esta fecha la transpiración es más elevada. La siembra de septiembre, fue la que obtuvo los valores de VPD más bajos y con caída entre los 30 a 80 dds (Figura 7).

Cuando existen aumentos de VPD, aumenta la transpiración de las plantas. El alto VPD, puede causar marchitez cuando el consumo del agua de la raíz no puede mantenerse al día con la pérdida de la evaporación de la hoja. Por otro lado, con un VPD cercano a cero, las plantas dejan de transpirar debido a que la atmósfera se encuentra saturada con vapor de agua, es decir no hay un gradiente de concentración hacia donde difunda el vapor de las estomas, por lo que reduce la fotosíntesis y con ello repercute en el rendimiento (Beluzan 2013).

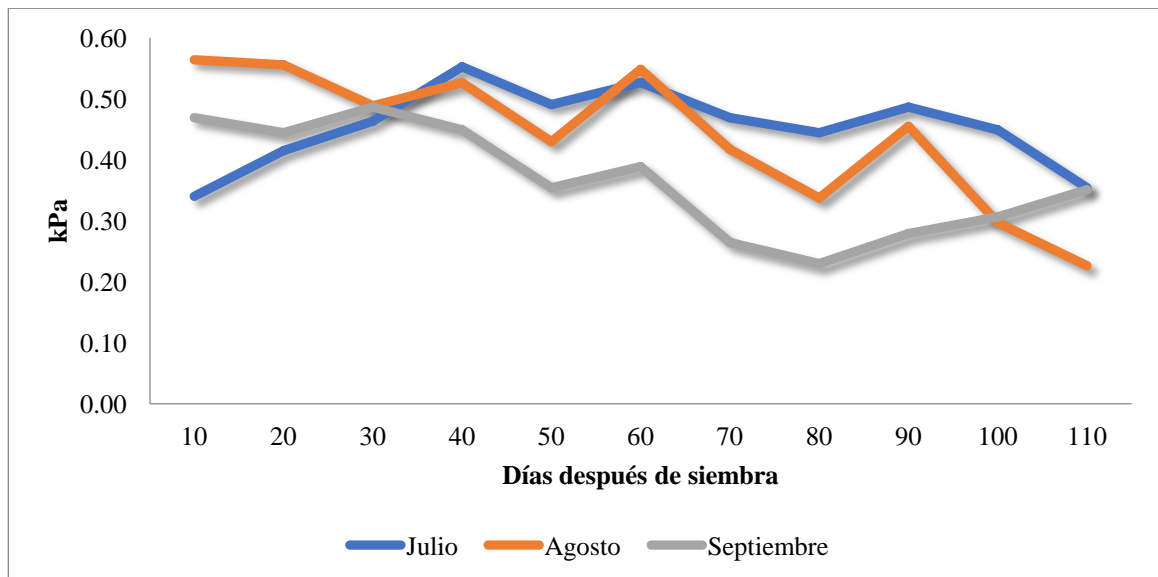


Figura 7. Déficit de presión de vapor por fecha de siembra.

c) PRODUCCIÓN DE BIOMASA

Una de las maneras que se midió biomasa en esta investigación, fue a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). En la siembra realizada en agosto, se observa que los valores de NDVI son más elevados hasta los primeros 35 días después de siembra. Luego le sigue la siembra de julio y por último la de septiembre. Después de los 35 días, las tres siembras se comportan de la misma manera (Figura 8).

Este comportamiento, indica que, en los primeros días el cultivo de arroz tuvo mejor desarrollo y producción de biomasa. El NDVI, está ligado a un gran número de factores en los cultivos, sin embargo, la biomasa es el factor más importante (Martonell 2017).

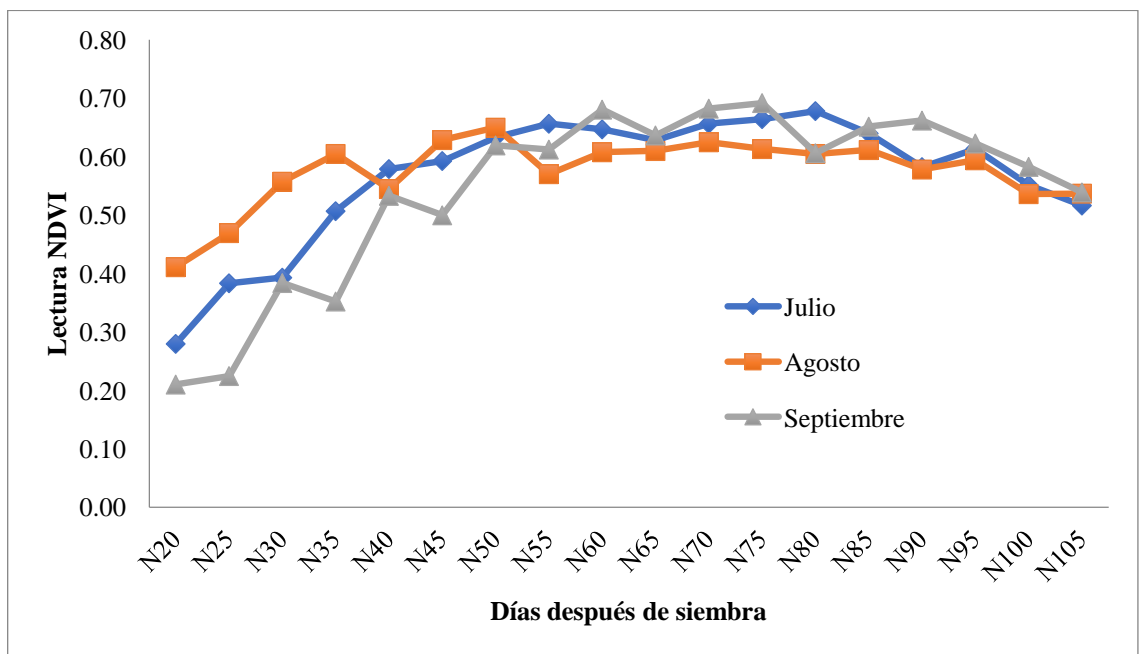


Figura 8. Lectura de NDVI en las tres fechas de siembra.

La producción de biomasa de las tres siembras fue muy similar hasta los 60 días después de siembra. A los 80 días después de siembra, la siembra de julio es la que obtuvo mayor incremento de la biomasa, seguido de agosto y por último septiembre, al finalizar el ciclo la producción de biomasa fue similar.

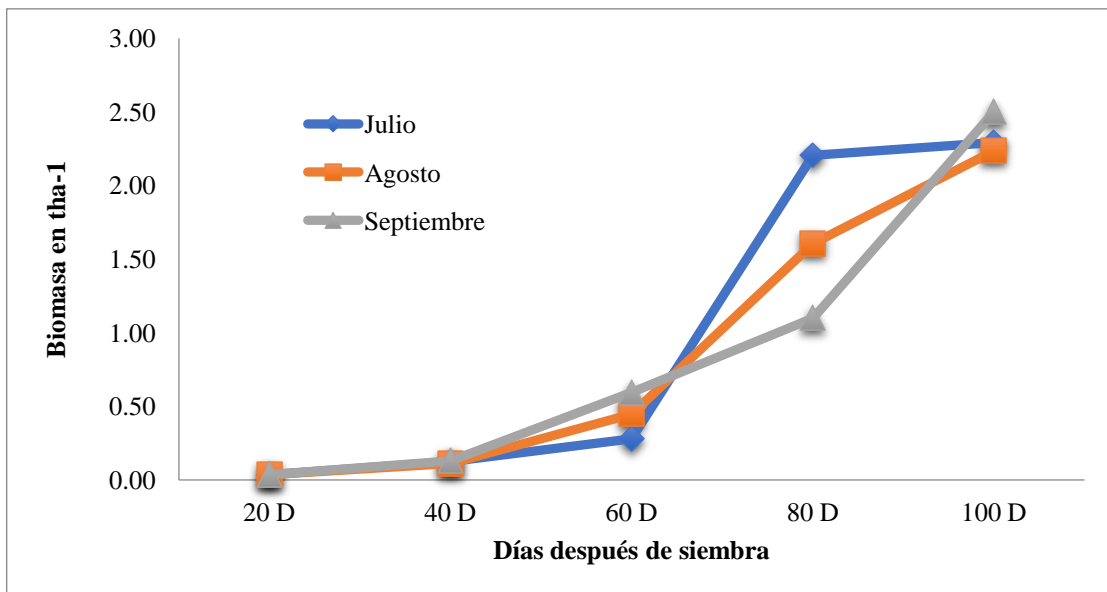


Figura 9. Producción de biomasa a través del tiempo en tha⁻¹.

3.2 EFECTO SISTEMA DE SIEMBRA SECANO x RIEGO

Los tratamientos con riego, fueron los que obtuvieron los más altos rendimientos con 6.70 tha⁻¹, los tratamientos de secano presentaron rendimientos de 3.15 tha⁻¹, las parcelas con riego no presentaron estrés hídrico. Las parcelas con secano estuvieron sometidas a estrés hídrico y estrés ambiental. Es evidente que cuando existe un estrés, el rendimiento disminuye (MINAG 2011).

La variable altura de planta para el tratamiento con riego presentaron los valores más altos que los de secano. La altura de la planta es fuertemente influenciada por condiciones ambientales. Existen variedades de portes bajos, intermedios y altos, los cultivares utilizados oscilaban entre 99.6cm y 109.6cm (Zavala y Ojeda 1988).

En el peso de panícula y panículas por metro cuadrado se obtuvieron los valores más altos, en los tratamientos con el sistema de riego.

El sistema bajo riego se obtuvo los menores días en la floración, muy cercano a los valores de la descripción varietal para estos cultivares (65 y 75 días). La maduración en el sistema bajo riego se obtuvo en menores días. El llenado de grano puede ser afectado por fluctuaciones ambientales, daño por aves o vuelco del cultivo (Chaudhary *et al* 2003)

Las plantas por metro cuadrado, en el sistema secano, obtuvieron los valores elevados (Cuadro VIII).

CUADRO VIII. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL EFECTO SISTEMA DE SIEMBRA.

SISTEMA	PTM2 (m²)	PAM2 (m²)	PPAN (g)	REND (tha⁻¹)	ALPT (cm)	FLO (días)	MAD (días)
<i>Riego</i>	147.8	405.6	671.0	6.70	101	78	102
<i>Secano</i>	450.1	348.8	310.5	3.15	84	93	115
DMS 5%	90.4	49.3	81.6	0.86	6	2	1

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALTP = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración.

Todas las variables climáticas, presentaron mayores coeficientes de correlación de Pearson en los tratamientos de riego, que en los tratamientos de secano. Esto quiere decir, que el rendimiento del arroz se vio afectado por estrés hídrico. En todas las variables presentaron coeficientes de correlación de Pearson mejores en el intervalo de edad de 81 a 110dds, la cuales también fueron los valores más altos para este intervalo de edad del cultivo (Cuadro IX).

CUADRO IX. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON RENDIMIENTO DE GRANO SEGÚN SISTEMA VS VARIABLES CLIMÁTICAS.

Variables Climáticas	56 a 80 dds		81 a 110 dds	
	Secano	Riego	Secano	Riego
Temperatura Promedio	0.41	0.91	0.94	0.78
Humedad Relativa Promedio	0.17	0.66	0.83	0.93
Presión Barométrica Promedio	0.03	0.42	0.60	0.93
Radiación solar promedio	0.09	0.55	0.83	0.93
ETO	0.67	0.94	0.67	0.94
VPD	0.70	0.94	0.12	0.60

En la producción de biomasa entre parcelas de riego y secano, no presentaron diferencias significativas en los valores de NDVI, en el ciclo del cultivo (Figura 10). Las buenas condiciones que se presentaron en ese año, fue beneficioso para el desarrollo del cultivo en ambos sistemas de siembra.

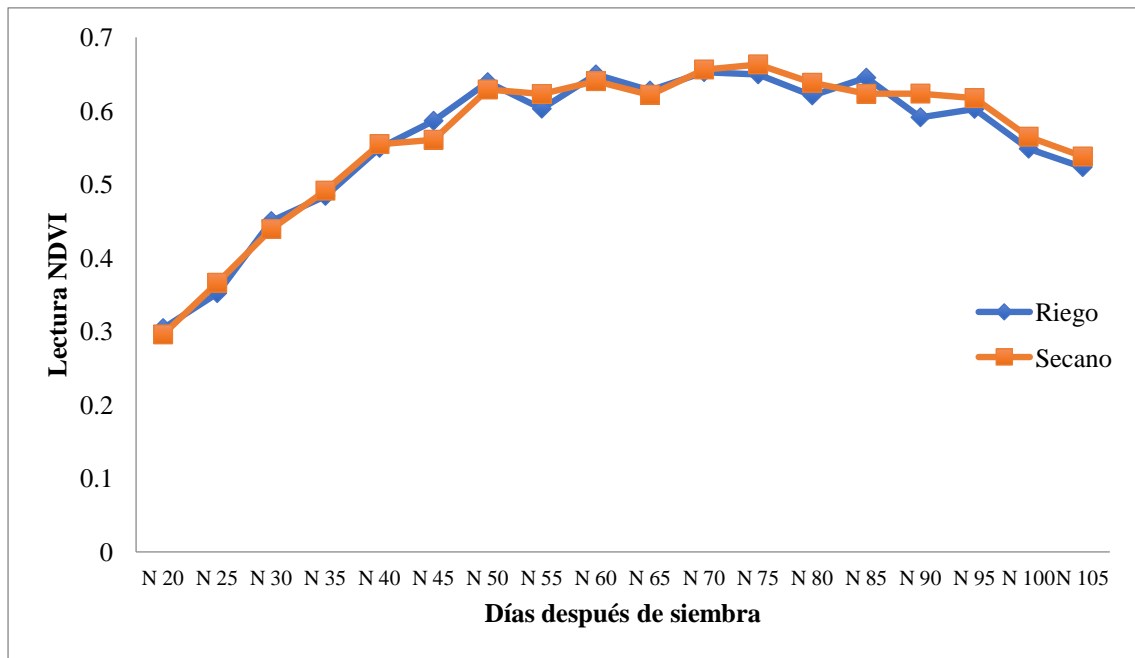


Figura 10. Lecturas de NDVI por sistemas de siembra.

Para el sistema de riego se obtuvieron los valores más altos de producción de biomasa (tha^{-1}), en el ciclo del cultivo y en el sistema de secano se obtuvieron los menores valores (Figura 11). Estos resultados están estrechamente relacionados con el estrés hídrico, a que estuvieron sometidas las parcelas de secano, ya que, si existe déficit de agua, la apertura de los estomas se reduce y esto conlleva a una disminución en el intercambio de CO_2/O_2 , teniendo como consecuencia una reducción de la fotosíntesis (Earl 2015).

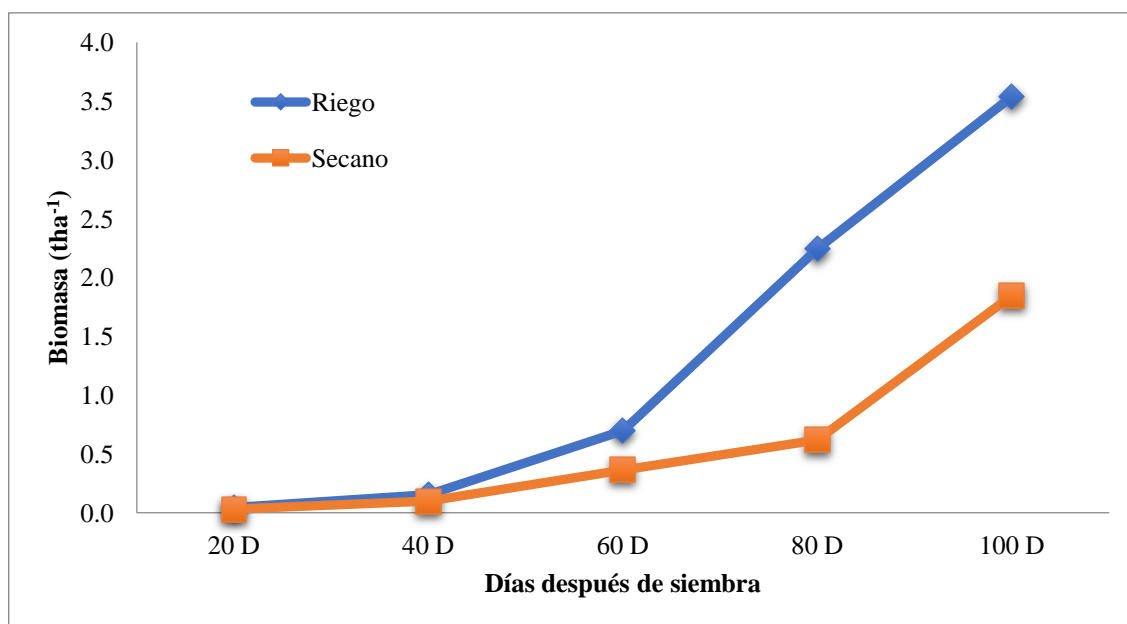


Figura 11. Biomasa por sistema de siembra en tha^{-1} .

4. EFECTO CULTIVARES

En el Cuadro X, podemos observar, que los cultivares utilizados, no presentaron diferencias significativas ($\text{Pr} > 0.49$), en cuanto a rendimientos. El cultivar IDIAP-FL-72-17, presentó mayor cantidad de panículas por metro cuadrado, mayor peso de panícula, mayores días a floración y más días a maduración. No obstante, el cultivar VF-111-11, fue la que presentó mayor altura de plantas y mayor cantidad de plantas por metro cuadrado. El cultivar VF-111-11, presentó valores más altos de biomasa. La densidad de panículas por metro cuadrado, define el primer componente de rendimiento del cultivo. Una densidad de 250 plantas por metro cuadrado, sería lo adecuado para lograr una adecuada cantidad de panículas por metro cuadrado, en el estado reproductivo, que serían

unas 500 panículas por metro cuadrado, dependiendo las condiciones del crecimiento (Olmos 2007).

CUADRO X. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL EFECTO CULTIVAR.

CULTIVAR	PTM2 (m²)	PAM2 (m²)	PPAN (g)	REND (tha⁻¹)	ALPT (cm)	FLO (días)	MAD (días)
<i>IDIAP-FL-72-17</i>	284.0	415.1	494.4	4.97	91	87	111
<i>VF-111-11</i>	313.9	339.2	487.1	4.88	94	83	106
DMS 5%	73.2	36.3	47.0	0.49	2	1	2

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALTP = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración.

5. INTERACCIÓN FECHA x SISTEMA

La siembra de agosto, con el sistema de riego, fue la que presentó los rendimientos más altos, con 7.07 tha⁻¹, seguida de la siembra de julio, con 6.83 tha⁻¹ y la siembra de septiembre bajo a 6.21 tha⁻¹. Los resultados mostraron, que las siembras bajo el sistema seco, presentaron los rendimientos más bajos, julio con 3.35 tha⁻¹, agosto, 4.43 tha⁻¹ y septiembre 1.67 tha⁻¹ (Cuadro XI).

Los tratamientos que se establecieron bajo el sistema de riego, presentaron menos plantas m², sin embargo, esto no afectó en las panículas m², ni en el peso de panículas, ya que son las que presentan mejor producción de la biomasa, y en el momento de la siembra tuvieron buena precipitación, favoreciendo la germinación de la siembra de seco. La germinación de la siembra de riego fue baja, sin embargo, la capacidad de

macollamiento en riego de estos materiales es muy bueno, lo cual no afecto el rendimiento de riego. Autores confirman que el estrés hídrico, afecta el metabolismo del nitrógeno y del carbono y por ende el rendimiento disminuye (MINAG 2011; Watto *et al* 2015).

CUADRO XI. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL EFECTO FECHA POR SISTEMA.

FECHA*SISTEMA	PTM2 (m²)	PAM2 (m²)	PPAN (g)	REND (tha⁻¹)	ALPT (cm)	FLO (días)	MAD (días)
<i>Julio – Riego</i>	146.7	367.1	696.7	6.83	101	84	116
<i>Julio – Secano</i>	467.9	365.4	338.3	3.35	77	97	126
<i>Agosto – Riego</i>	145.0	450.4	699.7	7.07	97	74.	88
<i>Agosto – Secano</i>	416.7	347.1	439.0	4.43	93	96	101
<i>Septiembre – Riego</i>	151.7	399.2	616.7	6.21	105	75	103
<i>Septiembre – Secano</i>	465.8	333.8	154.2	1.67	83	84	116
DMS 5%	94.4	67.3	176.4	1.76	4	2	3

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALTP = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración.

6. INTERACCIÓN FECHA x CULTIVAR

La siembra de agosto, fue la que obtuvo el rendimiento más alto, con el cultivar IDIAP-FL-72-17 (5.95 tha⁻¹), seguida, la siembra de julio con el mismo cultivar, con 5.44 tha⁻¹ y luego la siembra de septiembre con el cultivar VF-111-11 con 4.36 tha⁻¹. Las mejores variables agronómicas se presentaron en los meses de julio y agosto, con el

cultivar IDIAP-FL-72-17, sin embargo, en el mes de septiembre con el cultivar VF-111-11, también se obtuvieron, buenos valores en las variables agronómicas, solo que con menor rendimiento (Cuadro XII).

CUADRO XII. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL EFECTO FECHA POR CULTIVAR.

FECHA*CULTIVAR	PTM2 (m²)	PAM2 (m²)	PPAN (g)	REND (tha⁻¹)	ALPT (cm)	FLO (días)	MAD (días)
<i>Julio – IDIAP-FL-72-17</i>	288.8	407.9	550.3	5.44	87	93	124
<i>Julio – VF-111-11</i>	325.8	324.6	484.7	4.73	91	89	118
<i>Agosto – IDIAP-FL-72-17</i>	276.7	447.1	590.0	5.95	94	88	98
<i>Agosto – VF-111-11</i>	285.0	350.4	548.7	5.55	96	83	92
<i>Septiembre – IDIAP-FL-72-17</i>	286.7	390.4	343.0	3.52	91	82.	111
<i>Septiembre – VF-111-11</i>	330.8	342.5	427.8	4.36	96	77	109
DMS 5%	104.7	40.2	1.2	0.98	2	2	2

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALTP = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración.

7. INTERACCIÓN SISTEMA x CULTIVAR

En el Cuadro XIII, se observa que ambos sistemas de siembra y ambos cultivares tuvieron comportamientos similares para las plantas por metro cuadrado, panículas por metro cuadrado, peso de panícula, rendimiento, altura de plantas y floración. No obstante, en días a maduración, las plantas que maduraron más rápido, fueron en el sistema riego

con el cultivar VF-111-11 (100 días). Y las plantas más tardías, fueron para el sistema seco con el cultivar IDIAP-FL-72-17, con 117 días.

CUADRO XIII. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL EFECTO SISTEMA POR CULTIVAR.

SISTEMA*CULTIVAR	PTM2 (m²)	PAM2 (m²)	PPAN (g)	REND (tha⁻¹)	ALPT (cm)	FLO (días)	MAD (días)
<i>Riego – IDIAP-FL-72-17</i>	159.4	438.6	668.2	6.66	99	80	104
<i>Riego – VF-111-11</i>	136.1	372.5	673.8	6.74	103	75	100
<i>Secano – IDIAP-FL-72-17</i>	408.6	391.7	320.7	3.28	83	95	117
<i>Secano – VF-111-11</i>	491.7	305.8	300.3	3.02	86	90	112
DMS 5%	60.4	20.6	66.3	0.69	4	2	1

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALTP = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración.

8. INTERACCIÓN FECHA x SISTEMA x CULTIVAR

Las plantas con floración más tardía, se presentaron para la siembra de agosto con el sistema de siembra seco y con el cultivar IDIAP-FL-17, con 99 días y las más precoces fueron para la siembra de agosto, con el sistema de riego y con el cultivar VF-111-11, con 72 días. La maduración más temprana de las plantas se registró en la siembra de agosto, bajo el sistema riego, con el cultivar VF-111-11 a la edad de 85 días y las más tardías fueron para la siembra de julio en el sistema de siembra seco, con el cultivar IDIAP-FL-72-17, a la edad de 129 dds. Las demás variables estudiadas, tuvieron comportamientos similares (Cuadro XIV).

CUADRO XIV. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA EL EFECTO FECHA DE SIEMBRA POR SISTEMA POR CULTIVAR.

FECHA*SISTEMA*CULTIVAR			PTM2 (m ²)	PAM2 (m ²)	PPAN (g)	REND (tha ⁻¹)	ALPT (cm)	FLO (días)	MAD (días)
<i>Julio</i>	<i>Riego</i>	<i>IDIAP-FL-72-17</i>	152.5	417.5	742.0	7.26	98	86	119
<i>Julio</i>	<i>Riego</i>	<i>VF-111-11</i>	140.8	316.7	651.3	6.39	104	82	113
<i>Julio</i>	<i>Secano</i>	<i>IDIAP-FL-72-17</i>	425.0	398.3	358.7	3.63	76	99	129
<i>Julio</i>	<i>Secano</i>	<i>VF-111-11</i>	510.8	332.5	318.0	3.07	77	96	123
<i>Agosto</i>	<i>Riego</i>	<i>IDIAP-FL-72-17</i>	157.5	508.3	738.0	7.45	97	76	91
<i>Agosto</i>	<i>Riego</i>	<i>VF-111-11</i>	132.5	392.5	661.3	6.68	97	72	85
<i>Agosto</i>	<i>Secano</i>	<i>IDIAP-FL-72-17</i>	395.8	385.8	442.0	4.46	91	99	105
<i>Agosto</i>	<i>Secano</i>	<i>VF-111-11</i>	437.5	308.3	436.0	4.41	95	93	98
<i>Septiembre</i>	<i>Riego</i>	<i>IDIAP-FL-72-17</i>	168.3	390.0	524.7	5.28	102	78	103
<i>Septiembre</i>	<i>Riego</i>	<i>VF-111-11</i>	135.0	408.3	708.7	7.14	108	73	103
<i>Septiembre</i>	<i>Secano</i>	<i>IDIAP-FL-72-17</i>	405.0	390.8	161.3	1.76	81	86	118
<i>Septiembre</i>	<i>Secano</i>	<i>VF-111-11</i>	526.7	276.7	147.0	1.57	85	82	114
DMS 5%			157.3	87.6	128.8	1.26	5.9	0.4	2

PTM2 = plantas/m², PAM2 = panículas/m², PPAN = peso de panícula, REND = Rendimiento, ALTP = Altura de planta, FLO = Días a floración, MAD = Días a maduración.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

- La siembra de agosto, fue la que presentó los mejores valores agronómicos y mejor rendimiento, al no verse sometido al estrés hídrico en ninguna de las etapas críticas del cultivo de arroz.
- La siembra de julio le siguió en rendimiento a la siembra de agosto, la cual tuvo un estrés hídrico en la fase vegetativa.
- La disponibilidad de agua, es un factor importante para la obtención de buenos rendimientos, y es un componente fundamental en la producción de biomasa.
- En los meses que comprendió el estudio, no se registraron fluctuaciones extremas de temperaturas, por ende, no se observó estrés ambiental por efecto de temperatura en las plantas.

2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar este tipo de estudio ampliando el número de fechas de siembra y otras localidades arroceras, en referencia que en Panamá se registran fechas de siembra en los meses de abril 2, mayo, junio, julio y otros. Con el interés de encontrar o registrar estrés ambiental que pueda ilustrar posibles afectaciones en las plantas.

VI BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R; PEREIRA, L; RAES, D; SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura la Alimentación (FAO) Roma. 323 p.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE (ANAM). 2011. Atlas Ambiental de la República de Panamá. Gobierno Nacional: Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) 187p.
- BELUZAN, F. 2013. Déficit de Presión de Vapor (VPD) y factores microclimáticos como herramienta de pronóstico de *Botrytis cinerea* Pers. Ex Fr., en *Lactuca sativa* L. bajo invernadero. Valdivia, Chile. 113p.
- BENACCHIO, S; AVILÁN, W. 1991. Zonificación agroecológica del cultivo de arroz en Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, publicaciones FONAIAP. Maracay. 15 p.
- CAMARGO, I; QUIRÓS, E; ZACHRISSON, B. 2012. Fenología de la Planta de Arroz y su importancia en el manejo integrado del cultivo. IDIAP. Panamá. 26p.

- CAMARGO, I; QUIRÓS, E; ZACHRISSON, B. 2014. Innovación tecnológica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panamá. Instituto De Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 141 p.
- CAMPOS, M. 2003. El cambio climático en Centroamérica. Honduras. 17p.
- CHAUDHARY, R; NANDA, J; TRAN, D. 2003. Guía para identificar las limitaciones en campo en la producción de arroz. FAO. Roma. Consultado el 26 de septiembre de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s00.htm#Contents>
- CONTIN, A. 1975. Cultivo de arroz: Manual de producción. México. Editorial Limusa. 426p.
- DEGIOVANNI, V; MARTINEZ, C; MOTTA, F. 2010. Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Tomo I. Cruz, M. (ed). CIAT, Colombia. 513p.
- EARL, L. 2015. Fisiología de alto rendimiento. Conferencia del 4° Congreso Internacional de Nutrición y Fisiología Vegetal Aplicada. Intagri México. (En línea). Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-fisiologia-del-alto-rendimiento>. Consultado el 2 de agosto de 2018.
- FERNÁNDEZ, F; VERGARA, B; YAPIT, N; GACÍA, O. 1985. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. En Arroz: Investigación y Producción. CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 696p.

- FLORENTINO, A. 2011. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua, Venezuela. 23p.
- GUERRERO, T. 2010. El cambio climático reduce la producción de arroz. (En línea) Consultado el 10 de julio de 2016. Disponible en: <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/08/09/ciencia/1281356821.html>
- GUTIERREZ, M; CADET, E; RODRIGUEZ, W; ARAYA, J. 2011. El Greenseeker y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. Agronomía Mesoamericana. 22(2):397-403.
- INSMET. 2011. El clima en Cuba. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Consultada el 20 de septiembre de 2018. Disponible en: <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=CLIMAC&TB2=/clima/ClimaCuba.htm>.
- JARA, R; VALENZUELA, A. 1998. Desarrollo del sistema de riego en el secano interior y costero. Componente nacional: Capacitación y difusión de tecnologías de riego. Comisión nacional de riego. Universidad de Concepción. Chile. 24 p. Disponible en: <http://www.fotossintese.net/pdf/Necessidades%20de%20Agua%20de%20los%20Cultivos.pdf> Consultado: 20 de noviembre 2015.
- JARAMILLO, S. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP. Instituto De Investigación Agropecuaria de Panamá. Boletín técnico N°38. 67 p.

- KOSTIAKOV, A. 1932. On the dynamics of the coefficients of water percolation in soils. and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration, Transaction Congress International Society for Soil Science, 6th. Moscow, Rusia. Part A. Rusia. 17-21 pp
- LANGE, O.L; LÖSCH, R; SCHULZE, E.D; KAPPEN, L. 1971. Responses of stomata to changes in humidity. *Planta* 100(1), pp 76-86.
- LARCHER, W. 1995. Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. SpringerVerlag, Berlin-Heidelberg. 513p.
- MARTONELL, A. 2017. El NDVI o Índice de diferencia normalizada. (En Línea). Disponible en: <https://www.google.com/amp/s/geoinnova.org/blog-territorio/ndvi-indice-vegetacion/amp/> (Consultado el 16 de julio de 2018).
- MENESES, C. 2012. El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. Comisión Nacional Forestal de México. *Unasylva* 1-238, Vol. 62, 2011/2.
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO (MIDA). 2018. Superficie, producción, rendimiento y número de productores de arroz mecanizado por región en la república. Dirección Nacional De Agricultura. Panamá. Consultado en línea el 24 de septiembre de 2018. Disponible en: <http://www.mida.gob.pa/upload/documentos/2018arrozmecanizado.pdf>

MINAG. 2011. Modificaciones al instructivo técnico para el cultivo de arroz. Instituto de Investigaciones de Granos. La Habana, Cuba. ISBN.959-246-037-X. 30p.

MONTOLIU, A. (2010). Respuestas Fisiológicas de los Cítricos sometidos a condiciones de estres Biótico y Abiótico. Aspectos comunes y específicos. Departamentos de ciencias agrarias. ISBN: 978-84-694-4735-2. 213p.

OLMOS, S. 2007. Apunte de Morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético de arroz. Universidad de Nacional de Corrientes, Argentina.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, IT. (FAO). 2016. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. (En línea). Disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>. (Consultado el 20 noviembre de 2016).

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, IT. (FAO). 2004. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. (En línea). Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s04.htm>. (Consultado: 20 de noviembre de 2016).

PÉREZ, B; OCHOA, A. 1990. Respuesta de las plantas al déficit hídrico. Ciencia 333-444p.

- PINEDA, d. 2016. Nuevas metodologías que permitirán cultivar el arroz con menos agua. Fedearroz (Fondo Nacional de Arroz). Revista Arroz. Vol 64. 18-24p.
- PORTILLO, V; PERALIZ, J. 2015. Eco fisiología del Cultivo del Arroz. Perú.31p.
- QUIRÓS, E. 2005. Etapas de desarrollo y fisiología de la planta de arroz. In Capacitación para la formación de plagueros. Panamá, IDIAP. 8p.
- RAMÍREZ, E; ALFONSO, R; FRANCO, I; RODRÍGUEZ, S. 2007. Fenología de la Planta de Arroz Bajo Condiciones de Estrés Hídrico en Diferentes Fenofases y Durante todo el Ciclo. Instituto de Investigaciones del Arroz. 7p.
- SILVA, P; ACEVEDO, E; SILVA, H. 2000. Manual de Estudio y Ejercicios. Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 58p.
- SORIANO, A. (1980). Ecofisiología del estrés en las plantas. Facultad de Agronomía, 1-12p.
- STONE, L; MARQUES, P; ALVEZ, J. 2006. Irrigação. En BAETA, A; STONE, L; VIEIRA, N. A Cultura do Arroz no Brasil. Santo Antonio do Goiás, Embrapa Arroz Feijao. p 683-722.
- SURCO, S; CHACACANTE, I; VALDEZ, P. 2017. Influencia de la temperatura ambiental en las plantas. (En línea). Disponible en: http://www.canna.es/influencia_temperatura_ambiental_en_las_plantas. Consultado en 11 de junio de 2018.

- VARGAS, J. 1985. El arroz y su medio ambiente. En Tascon, E; García, E. (eds.). Arroz: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, Colombia. P.19 – 35.
- VARGAS, J. 2009. El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú. Banco Central de la Reserva de Perú. 59p.
- VILLARREAL, J; NAME, B. 1996. Técnicas de Laboratorio de Suelo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá. 110p.
- WATTO, J; KHAN, A; ALI, Z; BABER, M; NAEEM, M; ULLAH, M; HUSSAIN, N. 2015. Study of correlation among yield related traits and path coefficient analysis in rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology. Vol p. No. 46. 7853-7856p. ISSN-1686-5315.
- ZAVALA, M. I. OJEDA, L. R. 1988. Fitotecnia especial. Tomo 1. Editorial Puebla y Educación. Habana, Cuba. 237 p.